2.2.1. TRÁFEGO

As características do tráfego afetam a qualidade dos pavimentos flexíveis, devido a isto é que se tornou um importante parâmetro a ser considerado no projeto de um pavimento seja ele para fins rodoviários ou aeroportuários. Solicitações acima das previstas em projeto podem ocasionar degradações severas no material da superfície de rolamento.

O tráfego rodoviário é muito variado quanto ao tipo de veículos e cargas transportadas. Algumas das dificuldades no dimensionamento de pavimentos são a previsão da evolução do tráfego ao longo do tempo e a avaliação do poder de destruição, de modo comparativo, que exercem as várias cargas a diferentes níveis de repetições. Em virtude desta heterogeneidade, no caso rodoviário, o tráfego dos diferentes tipos de veículos geralmente é expresso em termos do número equivalente de solicitações do eixo padrão, um eixo simples de roda dupla com carga total de 82 kN (ou 8,2 tf).

Dessa forma, torna-se necessário classificar o mais detalhadamente possível a frota circulante, principalmente no que se refere aos caminhões. Porém, ocorrem inúmeros problemas para estimativa do tráfego rodoviário e um dos principais é a falta de controle da pressão de inflação de pneus dos veículos comerciais. A pressão de inflação em um eixo padrão é de 560 kPa (80 psi ou cerca de 5,62 kgf/cm^2), mas na prática a pressão de inflação utilizada é 25% maior em torno de 690 kPa (100 psi ou 7,03 kgf/cm^2). A consequência é a alteração da distribuição de tensão, causada pelo aumento da pressão de contato, que é admitida como igual à pressão de inflação do pneu.

Albano (1998), concluiu que a vida útil de um pavimento típico de rodovia vicinal pode sofrer uma redução de até 80% na vida útil, quando os excessos de carga chegam à ordem de 20%.

Com relação aos aeroportos, para se determinar o volume de tráfego é necessário o levantamento do número de partidas (decolagens) anuais por tipo de aeronave. Ao se fazer o planejamento da infraestrutura de um aeroporto é imprescindível o conhecimento das características físicas de cada aeronave que nele irá operar. Essas características são as dimensões, sua área de influência e os diversos tipos de composição do peso.

Para aviação, a segurança é vital seja na decolagem, no voo ou durante o pouso, de modo que nunca se transgrida a carga máxima. Ela é estabelecida levando-se em conta a estrutura do avião, as condições de operação nas pistas e a etapa de voo. Do peso bruto de um avião de

1500 kN (150 tf), cerca de 500 kN (50 tf) são de combustível. Já em rodovias as transgressões são frequentes, e as consequências são a degradação acelerada dos pavimentos e a sobrecarga das pontes e viadutos; mas, também, se verifica o desgaste maior do veículo e a redução da segurança na direção (Medina & Motta, 2005).

Com relação às cargas de aviões tem-se que o peso de um avião se divide nas parcelas, peso vazio de operação (avião, tripulação e equipamento de voo) – aproximadamente 5%

a) Carga paga ou *pay load* (passageiros, mala postal, carga) – aproximadamente 14%

b) Reservas de combustível – aproximadamente 6%

c) Peso zero Combustível – aproximadamente 35%

Onde o peso de pouso de uma aeronave se dá pela soma dos itens (a), (b) e (c), e a soma de todos os itens é o peso bruto máximo de decolagem (Horonjeff, 1966). Chega-se à conclusão de que o peso de uma aeronave é composto de uma constante, o peso vazio de operação e duas variáveis, o "*pay load*" e o combustível. A variedade de aeronaves que compõem as frotas comerciais pode ser observada na Tabela 2.2 que resume algumas das principais características: tamanho (m), peso (ton), capacidade, comprimento de pista requerido (m) etc.

Tabela 2.2 - Características de algumas aeronaves de transporte

ANV	***Env***	***Com***	***Bas***	***Bit***	***Mot***	***Pax***	***PMV***	***PMA***	***PVO***	***PZC***	***LP***
A320	34	38	13	8	2	150	74	65	41	61	2080
A300	45	54	19	10	2	266	165	138	90	130	2080
B737	29	34	12	5	2	141	57	52	32	48	2080
B777	61	64	26	11	2	340	243	202	136	191	3200
B747	60	70	26	11	4	496	352	260	174	243	2350

A envergadura (Env) e o comprimento (Com) da aeronave governam a geometria do Lado Aéreo do aeroporto, ou seja, as pistas de pouso e decolagem, as faixas de pista, as pistas de táxi ou rolamento e o pátio de estacionamento das aeronaves. A base (Bas), distância entre o trem de nariz e o eixo dos trens principais, e a bitola (Bit), distância entre os trens principais, impõem dimensões nas pistas e seus cruzamentos e curvaturas (Figura 2.1).

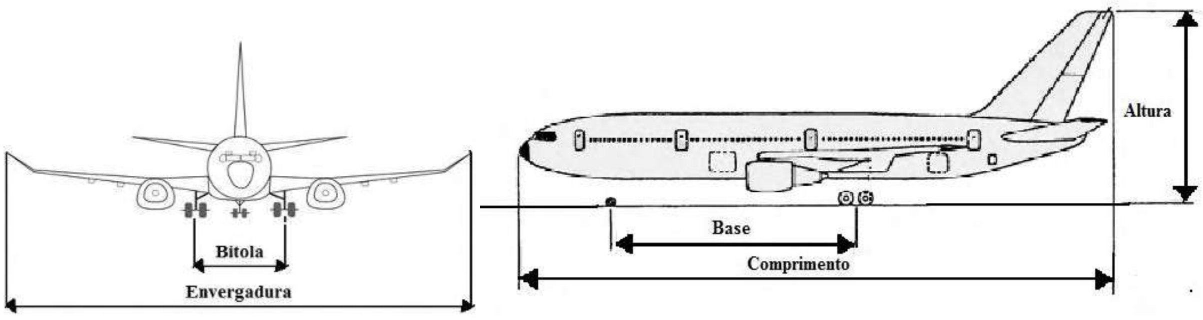

Figura 2.1 - Dimensões de uma aeronave (Alves, 2007).

Os pesos (PMD - Peso Máximo de Decolagem, PMA - Peso Máximo de Aterrissagem, PVO - Peso Vazio de Operação, PZC – Peso Zero Combustível), o empuxo gerado pelos motores (Mot) e a Carga paga ou *playload*, que pode ser expressa em termos de número de passageiros (Pax) definem as condições requeridas de operação para quantificação do comprimento de pista (LP). O LP, para as aeronaves citadas, está quantificado para as condições de referência, isto é, vento nulo, sem declividade de pista, ao nível de mar e na temperatura padrão.

Outras características podem assumir papel extremamente relevante. Por exemplo: as características do trem de pouso que faz a distribuição/interfaceamento do peso da aeronave com a pista por meio das áreas de contato dos pneus. Algumas aeronaves, mesmo que mais pesadas, acarretam, em função da configuração dos trens, uma necessidade de suporte de pavimento menor do que outras aeronaves mais leves (Alves, 2007).

A distribuição do peso da aeronave entre o trem de nariz e os trens principais é função do tipo da aeronave e da localização do seu centro de gravidade. Isto é variável ao longo de uma extensão denominada de passeio do centro de gravidade. Na análise de pavimentos considera-se uma distribuição de peso teórica tal que 5% do peso é recebido pelo trem de pouso do nariz e os 95% restantes pelos trens principais, de forma equitativa.

2.2.2. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Os pavimentos rodoviários e aeroportuários são dimensionados em função das características de suporte do material da fundação, das características dos materiais das camadas deste pavimento e, de forma preponderante, pela ação do tráfego de veículos que atuam sobre a superfície da pista durante um determinado número de anos que é chamado de vida útil ou período de projeto.

Com relação à distribuição transversal de cargas, praticamente não se faz diferenciação no dimensionamento de pistas rodoviárias, porém esta distribuição diferencia-se consideravelmente no dimensionamento transversal das pistas de aeródromos (Figura 2.2).

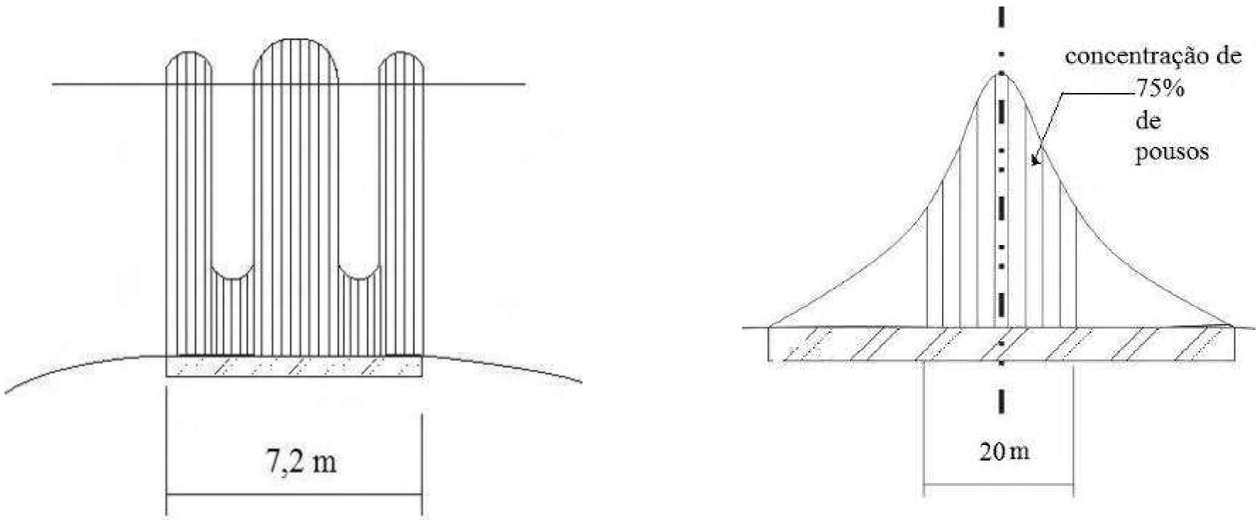

Figura 2.2 - Forma esquemática da distribuição transversal da carga nas rodovias e nos aeródromos, respectivamente (Medina & Motta, 2005).

A diferenciação do dimensionamento no sentido transversal em faixas contíguas de mesmo sentido de tráfego não é comum no Brasil. Recomenda-se fazer esta diferenciação nas rodovias de pistas separadas e de mais de duas faixas de tráfego (Medina & Motta, 2005).

No caso das pistas de pouso e decolagem de aeródromos, a intensidade de solicitações variáveis longitudinal e transversalmente, é levada em consideração no dimensionamento com a definição de áreas críticas e não críticas. Os revestimentos destas estruturas em geral são submetidos a esforços de compressão e de tração devidos à flexão, ficando as demais camadas submetidas principalmente à compressão (Figura 2.3). A Figura 2.4 mostra o efeito das rodas duplas sobre um revestimento flexível típico dos aeroportos, mostrando também a área de influência das rodas.

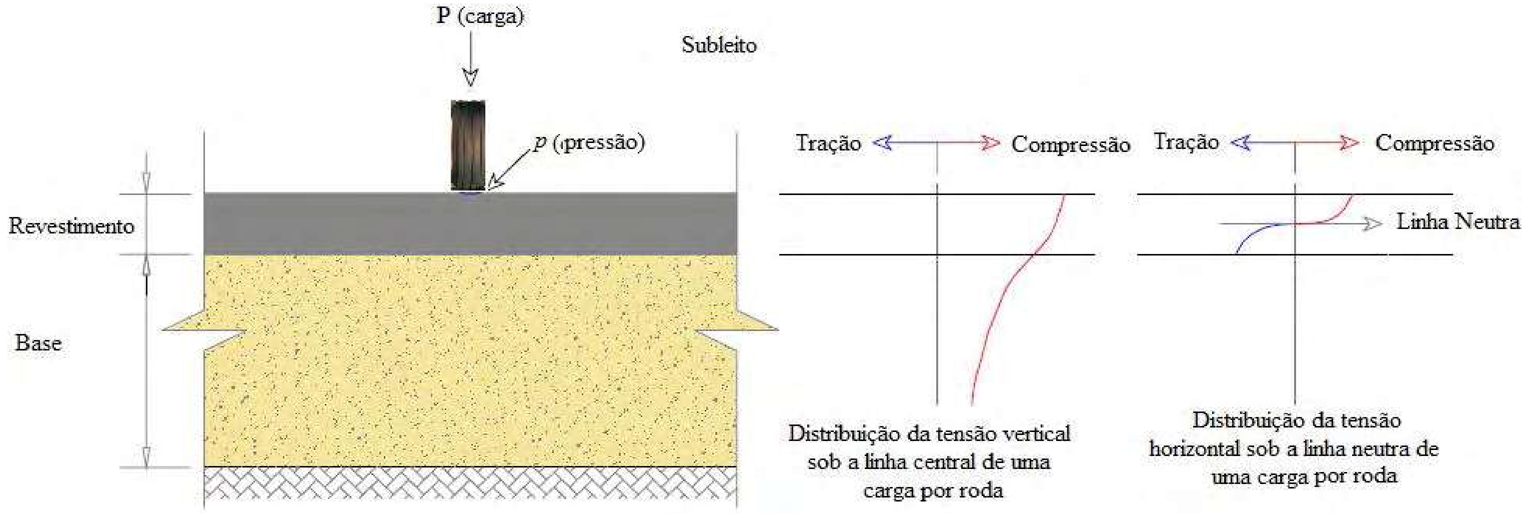

Figura 2.3 - Distribuição típica de tensão sob uma roda de carga (Haas e Hudson, 1978)

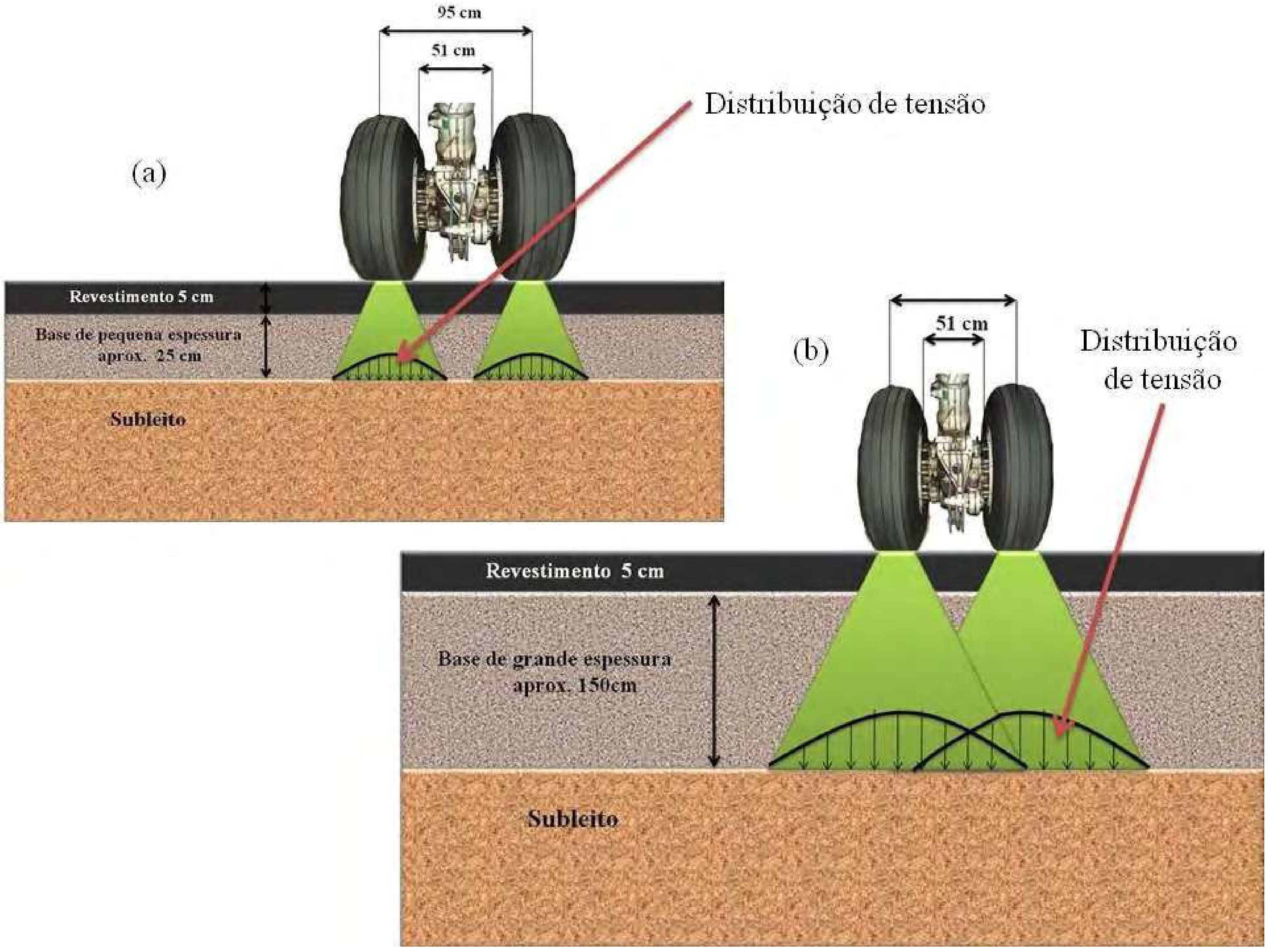

Figura 2.4 - Efeito das rodas duplas sobre os pavimentos; (a) base de pequena espessura (aprox. 25 cm); (b) base de grande espessura (aprox. 150 cm) (Medina & Motta, 2005).

Numa emergência de guerra, período da Segunda Guerra Mundial, ocorreu à necessidade de se obter um método de dimensionamento de pistas que fosse específico para aeroportos, foi então que se passou a utilizar o método do CBR (*Califórnia Bearing Ratio*) para cálculos de dimensionamento desses pavimentos devido principalmente à simplicidade dos ensaios do subleito e dos materiais componentes do pavimento. O método ainda hoje é utilizado no Brasil tanto para dimensionamento rodoviário, quanto para o aeroportuário.

Embora os projetos, tanto rodoviários quanto aeroportuários, sejam baseados em medidas de CBR, existem algumas diferenças importantes quanto às características geométricas e físicas decorrentes das solicitações de veículos em rodovias e em aeródromos, além de as cargas em aeródromos serem mais pesadas e em menor frequência do que em rodovias, como já visto anteriormente na Tabela 2.1.

A tarefa do dimensionamento deve-se à grande quantidade de variáveis de naturezas diversas. A consideração simultânea de tensões devidas ao tráfego, as variáveis climáticas, como

temperatura e umidade, a resistência do solo de fundação e dos materiais de construção disponíveis, a magnitude e a repetição das cargas de tráfego, a durabilidade do revestimento, são apenas alguns exemplos do alto grau de dificuldade existente na execução de um dimensionamento.

O projeto de pavimentos de aeroportos é um problema complexo que envolve um grande número de variáveis e de interações. No que se refere ao dimensionamento das pistas de pouso e decolagem, e de taxiamento, o método descrito no Boletim Técnico n° 17 da Associação Brasileira de Pavimentação (método da FAA-ICAO) tem como objetivo dimensionar pavimentos aeroportuários para uma vida útil de 20 anos. A metodologia é função do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito e do número de repetições de um eixo padrão da aeronave de projeto.

Nos últimos anos, tem-se adotado processos empírico-mecanísticos para dimensionamento de diversas rodovias e pista de aeródromos, que além de mais racionais conduzem a melhores resultados. Esta abordagem mecanística implica no conhecimento das características resilientes dos materiais de pavimentação e da fadiga que ocorre nos revestimentos asfálticos, bem como na avaliação das mesmas em laboratório por meio de ensaios dinâmicos adequados, implicando na determinação das espessuras e escolha de materiais que vão compor as camadas.

Na década de 1990, a indústria aeronáutica passou a produzir aviões mais pesados de configurações de trens de pouso bastante diferentes aqueles em atividade, a FAA não repetiu o procedimento anterior, baseado no CBR do subleito e em ábacos de aeronaves padrão. A aplicação da mecânica dos pavimentos permitiu desenvolver o novo método de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, denominado FAARFIELD (*Airport Pavement Design*) da FAA (FAA, 1995).

Em 2004, a FAA publicou um procedimento atualizado de dimensionamento baseado principalmente nos conceitos da mecânica dos pavimentos (Grag *et. al.*, 2004). Este novo procedimento possibilitou além da consideração de novos tipos de trens de pouso, a consideração dos parâmetros mecânico da teoria da elasticidade como fatores decisivos para um dimensionamento racional, levando em os módulos de resiliência dos materiais asfálticos e granulares, além da consideração da vida de fadiga do material asfáltico bem como a deformação vertical máxima admissível do subleito.